

## Mapas de Desarrollo Tecnológico en Centros de Investigación y Desarrollo Universitarios

Valdés-Rodríguez, Miriam  
Instituto de Ingeniería, UNAM,  
México  
[mvaldesr@iingen.unam.mx](mailto:mvaldesr@iingen.unam.mx)

López-Ortega, Eugenio  
Instituto de Ingeniería, UNAM,  
México  
[elopez@iingen.unam.mx](mailto:elopez@iingen.unam.mx)

Castillo-Camarena, Nadia  
Instituto de Ciencias Aplicadas y  
Tecnología, UNAM, México  
[nadia.castillo@icat.unam.mx](mailto:nadia.castillo@icat.unam.mx)

**Palabras clave:** mapas de desarrollo tecnológico, centros de investigación y desarrollo tecnológico, implementación, atractor.

**Abstract:** Los mapas de desarrollo tecnológico (MDT) son una herramienta que apoya el proceso de planeación estratégica en las organizaciones, en particular para la fase de implementación. Por lo tanto, pueden ser útiles para la planeación de Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológicos Universitarios (CIyDT-U). Sin embargo, los MDT enfrentan desafíos con respecto a la incertidumbre asociada a los cambios internos y externos que presenta una organización en su proceso de implementación.

Se presenta una propuesta metodológica que permitiría a un CIyDT-U identificar los cambios de su entorno interno y externo para realizar los ajustes pertinentes en las acciones requeridas para construir y/o fortalecer sus competencias y lograr el estado futuro deseado. La propuesta se sustenta en la aplicación del concepto de atractores.

Asimismo, se observa que la aplicación de MDT en la etapa de implementación requiere que los CIyDT-U consideren por separado cada tema de investigación que cultivan. Por el contrario, de la experiencia de los Centros universitarios analizados se observa que los indicadores de su desempeño se identifican por unidad administrativa.

### 1. Introducción

De acuerdo con López et al. (2019) la planeación estratégica de un Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico Universitario (CIyDT-U) se puede contemplar como un proceso de tres etapas:

1. Identificación de la situación actual del CIyDT-U con respecto al desarrollo en que se encuentran los temas de investigación en los que trabaja. Para esta etapa se propone el uso de la técnica de vigilancia tecnológica.

2. Análisis de las tendencias dominantes en el mediano y largo plazos en los temas de investigación que cultiva, con el fin de definir hacia dónde se debe orientar su desarrollo y, en consecuencia, establecer los objetivos estratégicos. Para esta etapa se propone el uso de la técnica de prospectiva tecnológica.
3. Definición de las acciones requeridas para construir y/o fortalecer las competencias del CIyDT-U para lograr los objetivos estratégicos en cada tema de investigación de interés. Para esta etapa se propone la utilización de la técnica de mapas de desarrollo tecnológico.

Esta última etapa corresponde a la implementación de la estrategia definida para desarrollar, en el mediano y largo plazo, cada tema de investigación que se desarrolla en el CIyDT-U.

La implementación de un plan estratégico consiste en la puesta en marcha de las estrategias establecidas en el plan (Mintzberg, 1994). Esto es, ejecutar los proyectos y programas del plan estratégico con el fin de alcanzar el estado futuro deseado de una organización. De acuerdo con la literatura hay diversos factores relacionados a los cambios internos y externos del entorno (económicos, demanda, tecnología, proveedores, por citar algunos), que pueden afectar la implementación de planes estratégicos en una organización (Cândido & Santos, 2019; Pereira et al., 2019; Riesener et al., 2020). Por lo tanto, se infiere que el proceso de implementación implica, por una parte, realizar revisiones periódicas para identificar cambios en el entorno y, por otra parte, ejecutar ajustes en función del estado en la que se encuentra la implementación.

Estos cambios que se presentan tanto en el entorno interno y externo de la organización afectan la ruta a seguir para alcanzar el estado futuro deseado de la organización, por lo que, en un proceso de planeación estratégica es necesario identificar los entornos cambiantes con el propósito de modificar la ruta seleccionada para lograr los objetivos estratégicos de dicha organización.

De acuerdo a lo anterior, en un proceso de implementación de planes estratégicos se observa que las organizaciones necesitan adaptarse continuamente a entornos dinámicos y deben hacer frente a la incertidumbre (Siebelink et al., 2016). La incertidumbre se refiere a la falta de conocimiento e imprevisibilidad del entorno interno y externo de las organizaciones para la toma de decisiones (Ilevbare et al., 2014) y es determinante en los procesos de toma de decisiones (Elbanna et al., 2014). Sin embargo, hay una falta de atención a la incertidumbre en los procesos de planeación estratégica (Ilevbare et al., 2014), en particular en la implementación.

Este trabajo propone la aplicación de la técnica de MDT para llevar a cabo la etapa de implementación en procesos de planeación en CIyDT-U. Se señala que la ventaja que representan los MDT en la etapa de implementación consiste en su capacidad para adecuar los planes con base en posibles cambios en el entorno interno y externo de la organización. Además, se incorpora el concepto de atractor con el fin de analizar las fuentes que pueden generar posibles modificaciones en dichos entornos.

En primer lugar, se presenta una breve revisión de la técnica de MDT. Posteriormente se describe el concepto de atractor y su aplicación para categorizar las fuentes que pueden generar cambios en los entornos interno y externo de los CIyDT-U. Con base en esta categorización, se analizan tres CIyDT-U en los que se identifican diferentes atractores en su actividad cotidiana y

en consecuencia, la implementación de planes puede estar afectada por cambios relativos en dichos atractores. Finalmente se señalan las principales conclusiones que se desprenden de la propuesta presentada.

Los mapas de desarrollo tecnológico corresponden a una herramienta para apoyar la planeación tecnológica en las organizaciones (Kerr et al., 2019); señalan la ruta que debe seguir una organización para alcanzar sus objetivos estratégicos permitiendo la puesta en marcha de las estrategias (Pearson et al., 2020).

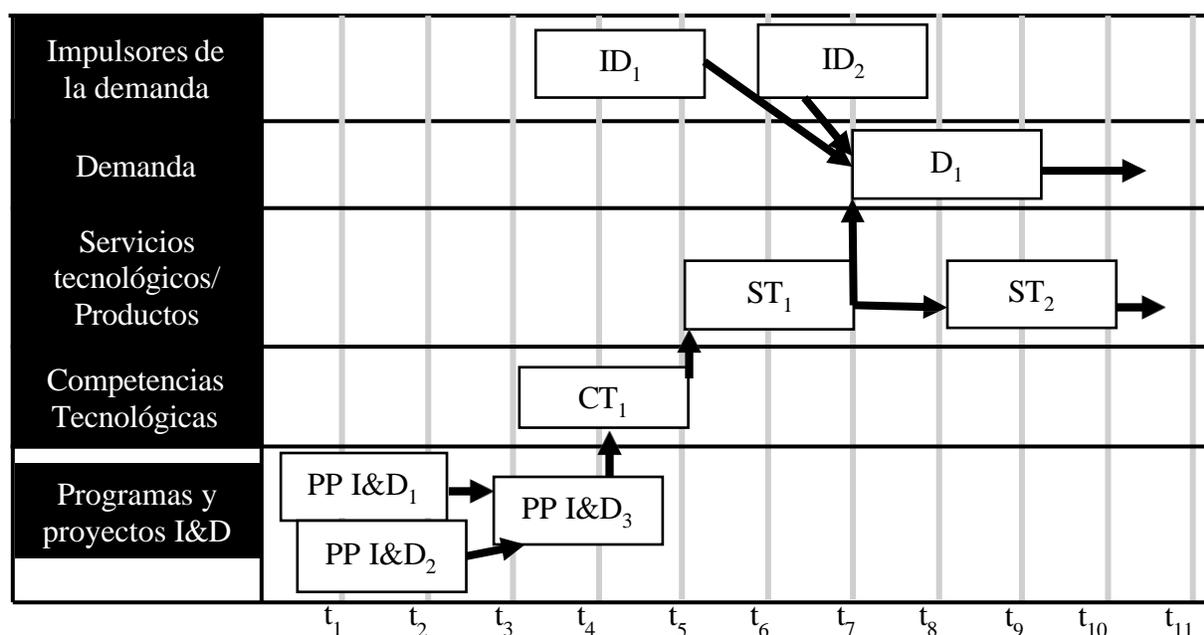
## 2. Mapas de Desarrollo Tecnológico (MDT) en un proceso de planeación tecnológica

De acuerdo con Willyard & McClees (1987) los MDT relacionan los objetivos estratégicos de una organización con sus competencias tecnológicas con el fin de alcanzarlos; permiten visualizar de forma gráfica la interacción entre las competencias tecnológicas, los objetivos organizacionales y el entorno de la organización (Groenveld, 1997). Más aún, Kamtsiou et al. (2006) señalan que las organizaciones utilizan los MDT para adaptarse a los cambios que presenta su entorno y establecer acciones hacia un estado futuro deseado.

En este sentido, el MDT es un término que describe la ruta a seguir para lograr los objetivos estratégicos de una organización desde una perspectiva tecnológica y dado su carácter visual permite identificar y describir los requerimientos tecnológicos de una organización para alcanzar un estado futuro deseado.

Establecer las rutas posibles en un MDT implica definir los programas y/o proyectos de I&D que permiten desarrollar/construir las competencias de una organización, las cuales sustentan el desarrollo de productos o servicios tecnológicos que responden a los objetivos estratégicos de la organización. A su vez, los productos o servicios tecnológicos responden a una demanda específica que es impulsada por diferentes actores. La figura 1 muestra un esquema general de lo que es un MDT.

Figura 1 Representación gráfica de un MDT



(Elaboración propia)

Los MDT fueron desarrollados por las empresas Motorola y Corning en la década de los 70 (Probert & Radnor, 2003) con el fin de construir o consolidar las competencias de la organización para alcanzar sus objetivos estratégicos; los MDT se utilizaron en la fase de implementación. Posteriormente otras organizaciones adoptaron los MDT para apoyar sus procesos de planeación tecnológica; algunos ejemplos notables son: Philips Electronics, Lucent Technologies, la Asociación de la Industria de Semiconductores (SIA), Asociación Europea de Gestión de la Investigación Industrial (EIRMA) (Kerr & Phaal, 2020). De acuerdo a Lee et al. (2009), el estudio de la técnica de MDT se concentró en estudios de caso en los que se utilizó como herramienta de apoyo en la fase de implementación de planes.

Por otro lado, Pantzartzis et al. (2019) indican que los MDT son una herramienta para la toma de decisiones que no sólo proporcionan información para la formulación de objetivos, sino también apoyan la implementación de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico (IyDT). Alcanzar los objetivos estratégicos en una organización implica definir los proyectos de IyDT que irán cumpliendo las metas y así alcanzar la situación objetivo. Desde la perspectiva de estos autores, los MDT son consideradas herramientas para apoyar la fase de implementación de planes pero también la definición del estado futuro deseado de una organización.

La literatura presenta diversos tipos de MDT con el fin de guiar a los lectores a comprender la naturaleza y el contenido de los MDT desde diferentes perspectivas (Lee & Park, 2005). Por ejemplo, los Laboratorios Nacionales Sandia definen tres tipos (Garcia & Bray, 1997):

- MDT dirigidos al desarrollo de productos o procesos. Por ejemplo el MDT desarrollado por MOTOROLA encaminado al desarrollo tecnológico de un radioreceptor (Willyard & McClees, 1987).
- MDT orientados al desarrollo de tecnologías emergentes. Pronóstica el desarrollo y comercialización de una nueva tecnología. Por ejemplo el MDT dirigido a tecnologías relacionadas con los viajes interestelares (Anderson, 1999).
- MDT enfocados a la mejora de alguna tecnología en particular. Por ejemplo las nanotecnologías para producir microprocesadores (SIA, 2015).

Saritas & Aylen (2010) señala que los MDT pueden manejar la incertidumbre que existe en el proceso de planeación al establecer una ruta gráfica que puede adaptarse a los cambios internos y externos del entorno. Actualmente, hay estudios que abordan el manejo de la incertidumbre en MDT (Siebelink et al., 2016).

En relación con el manejo de la incertidumbre en MDT, Ilevbare et al. (2014) analizó 650 documentos relativos a MDT y observó que 64 reconocieron la presencia de incertidumbre y/o riesgo. De los 64 MDT, solo 22 tomaron algunas medidas para abordar las incertidumbres y riesgos. Once MDT utilizaron técnicas de escenarios.

Estos resultados indican que aún hay una falta de atención para abordar la incertidumbre en los MDT, lo cual puede atribuirse a la ausencia de una adecuada orientación sobre cómo se debe diseñar un MDT que contemple estas características.

Al respecto, Vecchiato & Roveda (2010) señalan que una de las técnicas que se utilizan para manejar la incertidumbre en los procesos de planeación estratégica son los escenarios. El fin de los escenarios es visualizar múltiples futuros, algunos de ellos tendenciales (lo que sucederá, si no se realizan cambios en el presente) y otros normativos (el futuro que debe ser: un futuro construido (de León & Sánchez, 2017)).

Sin embargo, han sido escasos los estudios sobre un proceso claro de diseño de MDT que aborde estos temas; por lo que hay una brecha en términos de una metodología para diseñar MDT que incluya éstas formas imprevisibles (Siebelink et al., 2016; Tansurat & Gerdstri, 2019). Factores como el rápido cambio tecnológico y la dinámica e incertidumbre de las necesidades del mercado son un desafío para el diseño de MDT (Kim et al., 2016; Much et al., 2019).

### **3. El concepto de atractor en el manejo de la incertidumbre**

El concepto de atractor se genera en el desarrollo de la teoría de sistemas complejos. Un sistema complejo se caracteriza por ser dinámico (cambiante en el tiempo) y por tener retroalimentación entre sus elementos, de tal manera que los resultados de un estado (propiedades que resultan del proceso de interacción entre los integrantes del sistema), pueden modificar el comportamiento del sistema en el siguiente estado.

Un atractor es una región hacia donde una organización (vista como sistema) tiende a moverse ya sea deliberada o restringida por los parámetros de la propia organización (leyes, normativas) (Shetler, 2002). Cuando la trayectoria de una organización converge hacia un estado, se dice que existe una cuenca de atracción integrada por diferentes atractores (Lara-Rosano, 2017). En un CIyDT se cultivan diversos temas de investigación y para cada uno de ellos los atractores dominantes condicionan la dirección que toma la organización. Los atractores guían al CIyDT hacia una forma determinada de funcionamiento a lo largo de un horizonte de planeación.

Lo anterior plantea, que en un horizonte de planeación a corto, mediano y largo plazos se pueden presentar cambios en el entorno interno y externo del CIyDT-U que pueden afectar la implementación del plan. En consecuencia, durante la etapa de implementación es preciso realizar ajustes con el fin de alcanzar los objetivos estratégicos de la organización. Estos ajustes deben contemplarse a partir de lo ya alcanzado durante los periodos previos de la implementación.

Al respecto, la literatura señala que el proceso de construcción de MDT en CIyDT es complicado debido a que se enfrenta a diversos factores que en ocasiones son desconocidos, así como a incertidumbres asociados a éstos (Loyarte et al., 2015). Lo anterior, dificulta la puesta en marcha de las estrategias en este tipo de organizaciones (Bandarian, 2018).

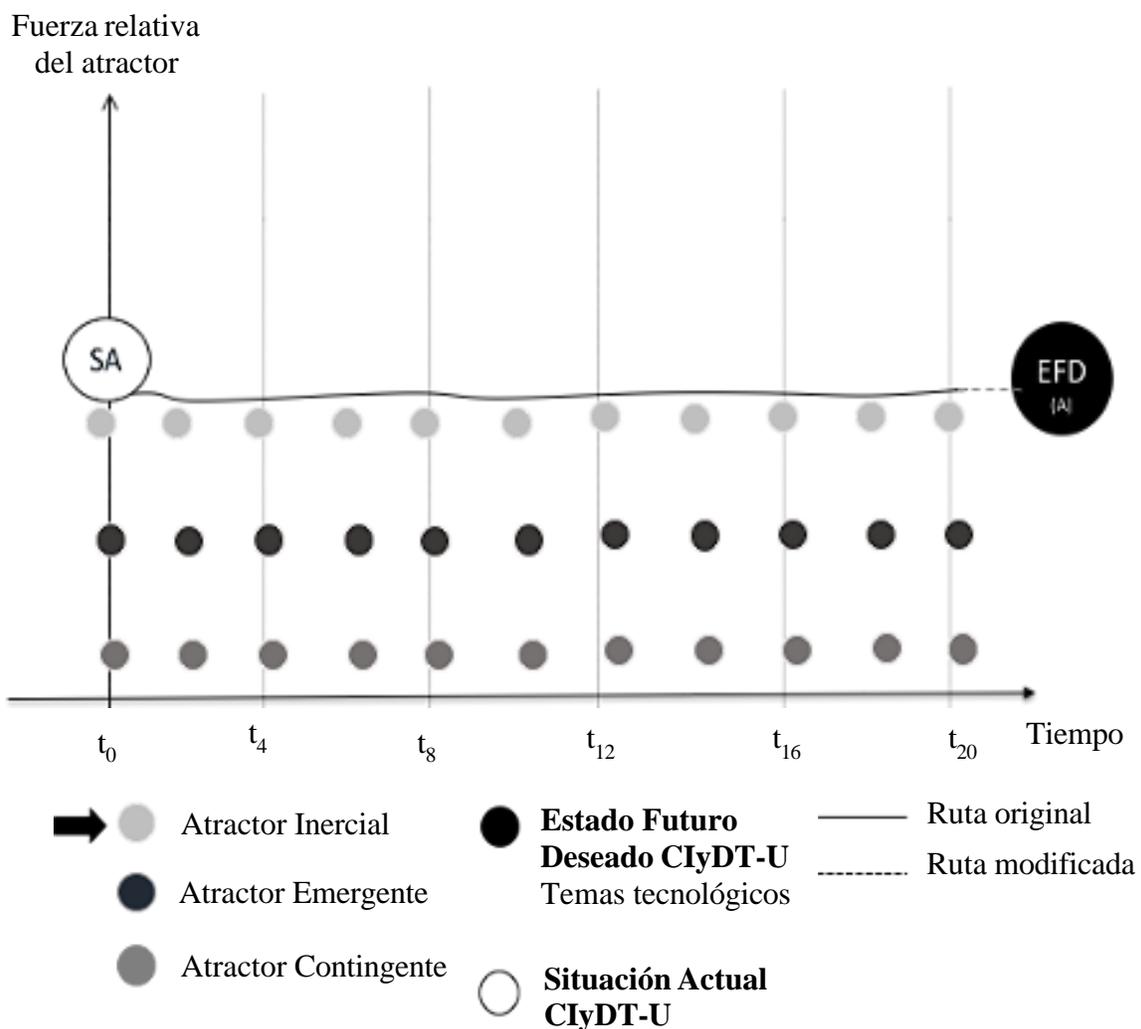
En particular para los CIyDT-U, los diferentes intereses y atractores que pueden existir entre los investigadores, el CIyDT-U y su entorno generan incertidumbre, dificultando el diseño de MDT en este tipo de organizaciones. Una forma para atender este punto es identificar los principales atractores que existen al interior y exterior del CIyDT-U que pueden modificar leve o importantemente los destinos deseados. Al respecto, se proponen los siguientes tipos de atractores:

**Atractor inercial.** Se observan cuando el CIyDT-U presenta grandes periodos de estabilidad. No se presentan cambios en el entorno interno ni externo (figura 2).

Emergente. Modifican la estabilidad de los atractores inerciales. Se asocian a un cambio del entorno interno del CIyDT-U. Estos atractores pueden ser identificados en la organización. (figura 3).

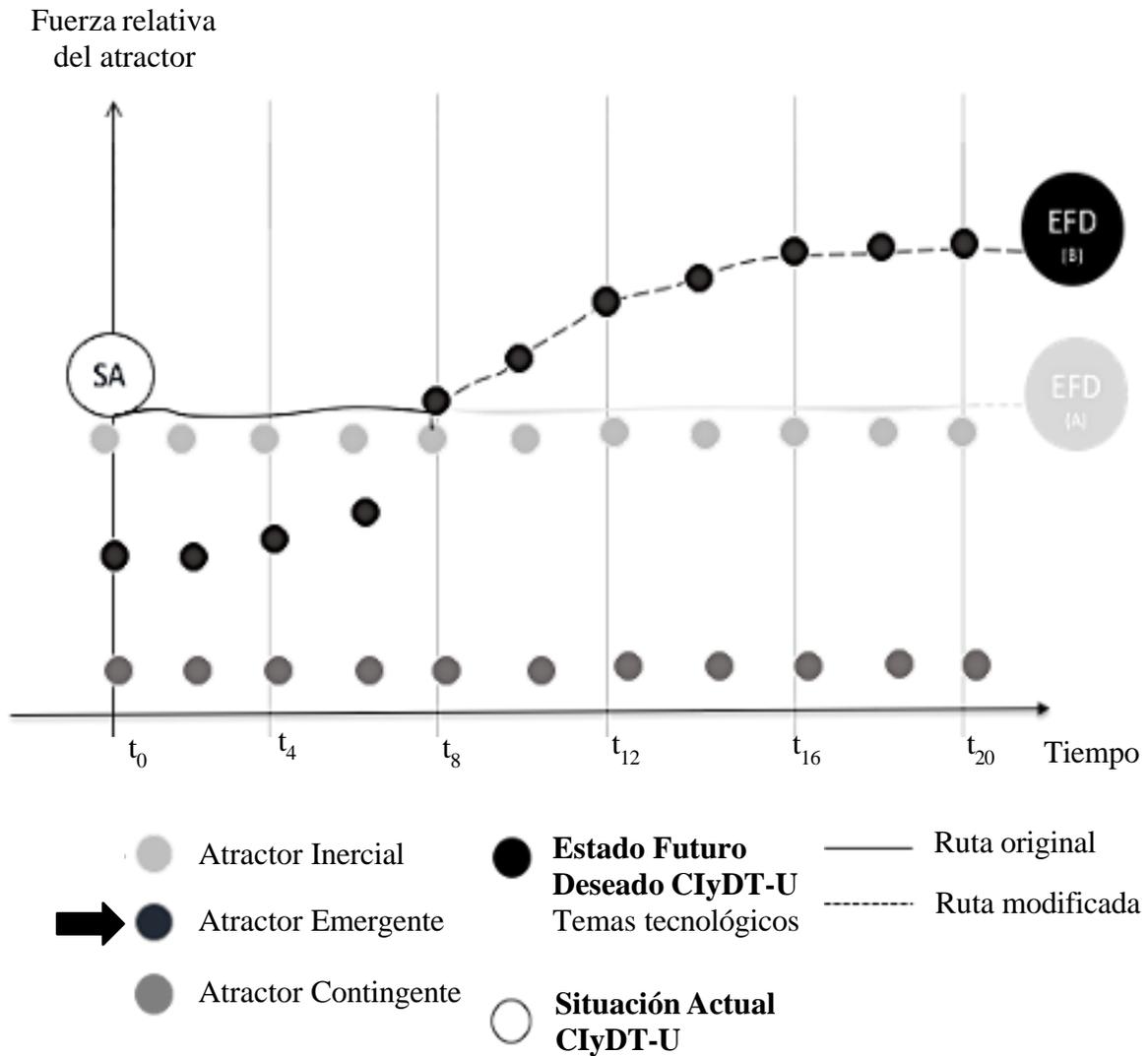
Atractor Contingente. Se asocian a un cambio del entorno externo del CIyDT-U. Dichos atractores pueden afectar la función o estructura de la organización de manera imprevista. (figura 4).

Figura 2. Permanencia de la fuerza relativa de los atractores



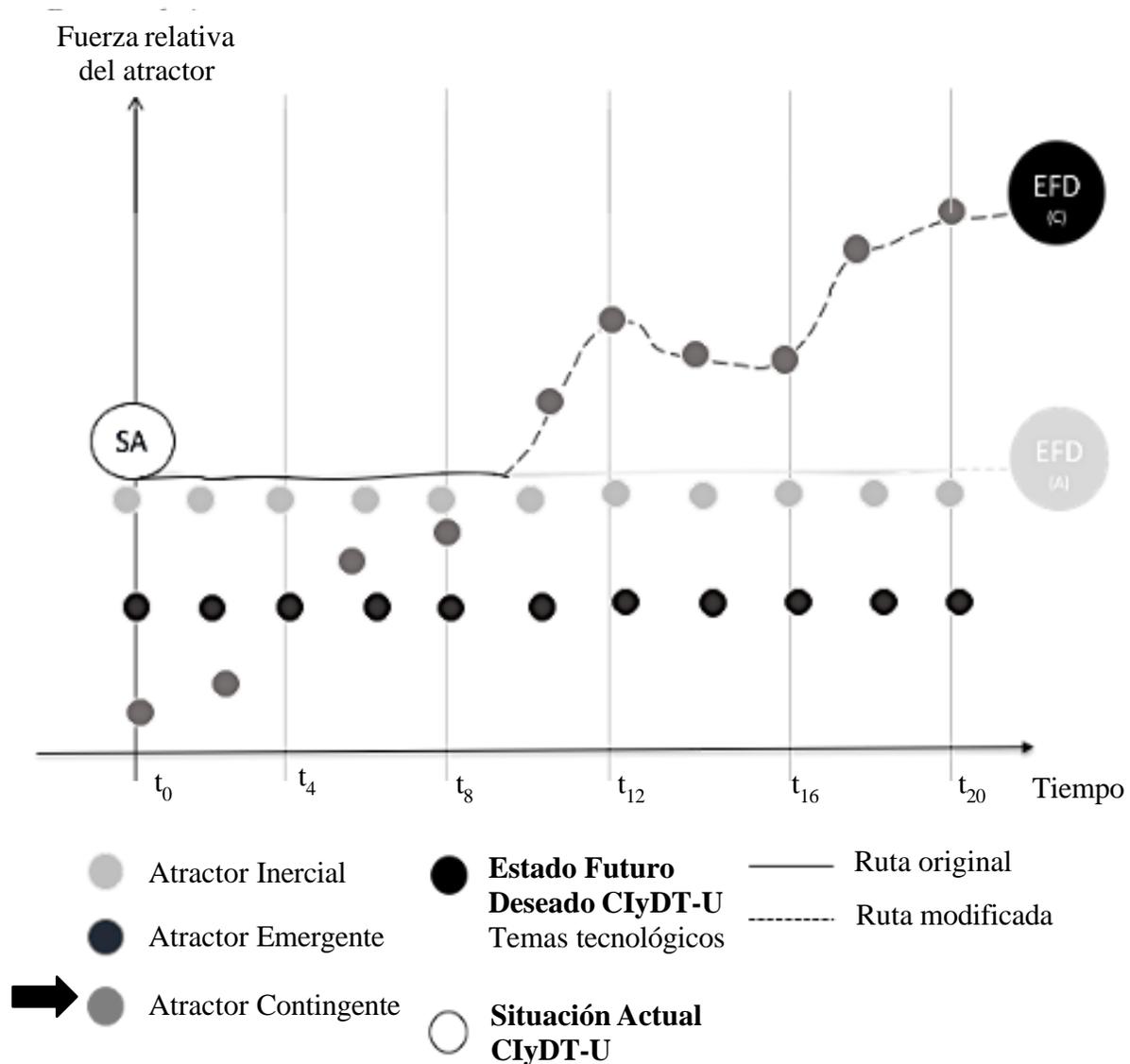
(Elaboración propia)

Figura 3. Aumento de la fuerza relativa del atractor emergente



(Elaboración propia)

Figura 4. Aumento de la fuerza relativa del atractor contingente



(Elaboración propia)

Los esquemas anteriores ilustran que es posible observar de forma gráfica los cambios que ocurren en el entorno interno y externo del CIyDT-U. Estas visualizaciones en los MDT señalan la ruta para construir, crear o fortalecer las competencias que requieren los CIyDT para alcanzar sus objetivos estratégicos, los cuales a su vez responden a la demanda de los servicios/asesorías requeridas para la atención de problemas específicos.

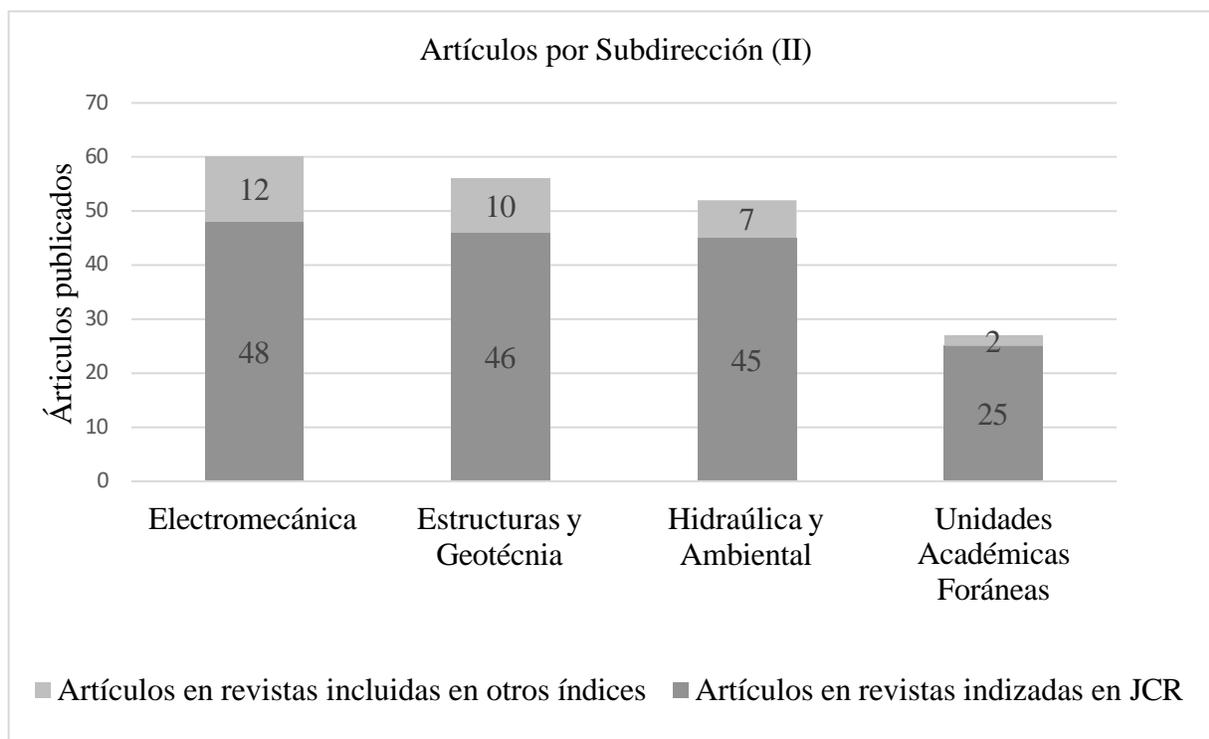
#### 4. El concepto de atractor aplicado en el diseño de MDT

Se planteó la aplicación del concepto de atractor en la construcción de MDT como apoyo en la etapa de implementación de planes estratégicos. Para ello, se analizaron tres CIyDT-U pertenecientes a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Estos fueron los siguientes:

- Instituto de Ingeniería (II)
- Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas (IIMAS)
- Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT).

La primera etapa del análisis se sustentó en los informes de actividades de los tres Centros. Se observó que los resultados presentados se referían a indicadores por unidad administrativa y no por tema de investigación atendido por los Centros. Por ejemplo, la siguiente gráfica ilustra los resultados reportados por el II en cuanto a artículos publicados por sus académicos en revistas.

Gráfica 1 Producción de Artículos (II, 2016)



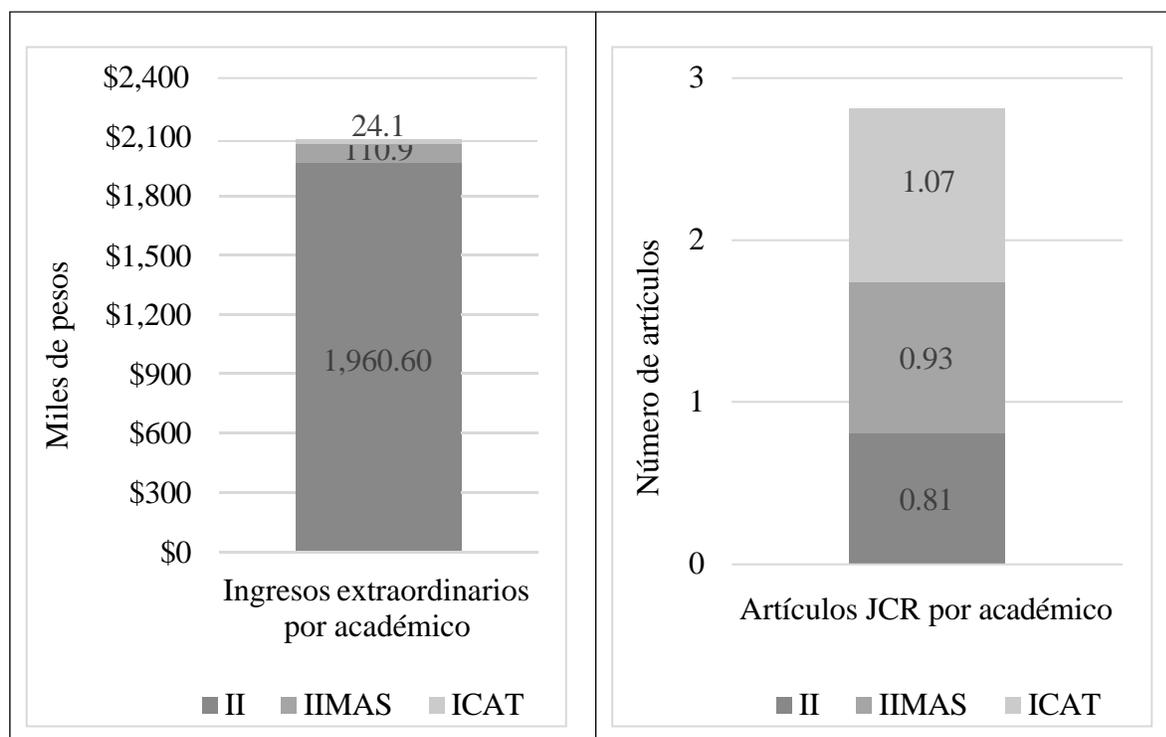
(Elaboración propia)

El número de artículos en revistas fueron reportados en 2016 de acuerdo a la unidad administrativa de adscripción de los académicos que los publicaron. De la misma manera, se reportaron otros resultados tales como informes técnicos, ingresos obtenidos, número de proyectos realizados, etc. Se observó que los otros dos Centros reportaron sus resultados de forma similar al II; es decir, de acuerdo a cada unidad administrativa.

Esta forma de reportar los resultados anuales evidenciaba una limitante para la aplicación de MDT. Esta técnica se sustenta en el análisis de temas de investigación específicos, independientemente de la unidad o unidades administrativas en las que se desarrollan. En una unidad administrativa pueden convivir varios temas de investigación de interés para el Centro. Asimismo, un mismo tema de investigación puede estar atendido por diferentes unidades administrativas dentro del mismo Centro.

Por otra parte, también con base en los informes anuales de resultados de los tres Centros se estimaron los diferentes atractores que modulaban su desarrollo. Para ello, se compararon los resultados reportados por cada académico adscrito a cada organización. En dos indicadores relevantes (ingresos y artículos publicados por académico) se encontraron importantes diferencias como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Indicadores relevantes en CIyDT-U



(Elaboración propia)

De la gráfica se puede observar que el principal atractor en el caso del II, se ubica en el desarrollo de proyectos que generan ingresos propios. En el año 2016, cada académico adscrito al II generó un poco menos de 2 millones de pesos mexicanos (alrededor de 114,000 USD), sustentados en la ejecución de proyectos solicitados por entidades externas al Centro. Por el contrario, de los tres Centros, el II generó el menor número de artículos en revistas JCR por académico (0.81 al año).

En el otro extremo se ubicó el ICAT. Este Centro recibió solamente un promedio de 24 mil pesos mexicanos por académico (1,400 USD). Por el contrario, el número de artículos publicados

por académico representó un 32% superior al registrado por el II. El tercer Centro (IIMAS) se ubicó en una posición intermedia entre el II y el ICAT, aunque más cercano a este último.

Es claro que los tres Centros, principalmente el II, registran diferentes atractores que rigen su comportamiento. Estos atractores corresponderán al llamado inercial cuyo peso relativo en cada Centro resulta dominante en su actividad cotidiana. Estos atractores modulan el comportamiento de cada Centro y, en consecuencia, también lo hacen en la dirección y productos asociados a cada tema de investigación atendido.

Durante la implementación del plan estratégico de cada Centro, pueden adquirir mayor peso relativo otros atractores como los señalados anteriormente; es decir, atractores emergentes y contingentes.

Un ejemplo de atractor emergente es cuando se presenta un cambio en la conducción y/o política del Centro lo que genera un cambio en sus prioridades. Por ejemplo, impulsar una mayor actividad en publicaciones por cada académico o, en sentido contrario, privilegiar los proyectos dirigidos a resolver problemas específicos que pueden generar mayores ingresos por académico.

Un atractor contingente se presenta cuando las condiciones del entorno se modifican súbitamente, lo que genera un redireccionamiento de las actividades de los temas de investigación que se desarrollan en el Centro. Por ejemplo, la construcción de un nuevo aeropuerto en la Ciudad de México en un sitio que presentaba importantes dificultades geotécnicas, llevó al II a dirigir sus actividades en el tema de análisis, caracterización y comportamiento de suelos hacia dar soluciones para la construcción de este tipo de infraestructura. Lo anterior aumentó los ingresos por académico en dicho tema de investigación con repercusiones en el número de artículos publicados por académico. Por otra parte, el II adquirió experiencia en el desarrollo de este tipo de infraestructura.

## **5. Conclusiones**

Los mapas de desarrollo tecnológico (MDT) han estado presentes en las organizaciones desde la década de 1970. Han mostrado su utilidad como instrumento para vincular la estrategia tecnológica a la operación de la organización. Los MDT permiten a las organizaciones visualizar de forma gráfica la interacción entre las competencias tecnológicas, los objetivos organizacionales y el entorno de la organización.

El trabajo considera la incertidumbre que se presenta en la etapa de implementación de planes y propone la utilización del concepto de atractor como una forma de categorizar los posibles cambios del entorno interno y externo de los CIyDT-U.

El trabajo discute los casos de tres CIyDT-U pertenecientes a la UNAM que muestran distintos atractores. Con base en el análisis de los informes de actividades, se observa que el desempeño de los CIyDT-U se reporta por unidades administrativas.

Se propone que el análisis del desempeño se sustente con base en los temas de investigación que se desarrollan. Lo anterior se debe a que aplicar MDT en los CIyDT-U mencionados requiere que la planeación se realice considerando los diferentes temas de investigación que atiende la

organización.

Si se da este cambio, los MDT representan una herramienta adecuada para dirigir la etapa de implementación en CIyDT-U y, en consecuencia, el concepto de atractor puede servir para identificar los cambios en el entorno interno y/o externo que motiven la necesidad de ajustes en la aplicación del plan.

## 6. Referencias

- Anderson, J. L. (1999). Roadmap to a star. *Acta Astronautica*, 44(2), 91–97.
- Bandarian, R. (2018). Strategic research and technology management in research and technology organisations. *International Journal of Technology, Policy and Management*, 18(4), 360–377.
- Cândido, C. J. F., & Santos, S. P. (2019). Implementation obstacles and strategy implementation failure. *Baltic Journal of Management*, 14(1), 39–57.
- de León Ardón, R. V., & de las Nieves Sánchez Guerrero, G. (2017). Characterization of public planning scenarios: The case of Mexican water sector. *Gestion y Politica Publica*, 26(1), 53–103.
- Elbanna, S., Thanos, I. C., & Colak, M. (2014). An exploratory study of the determinants of the quality of strategic decision implementation in Turkish industrial firms. *Journal of General Management*, 40(2), 27–46.
- Garcia, M. L.; Bray, O. H. (1997). *Fundamentals of Technology Roadmapping*. Albuquerque: Strategic Business Development Department, Sandia National Laboratories.
- Ilevbare, I. M., Probert, D., & Phaal, R. (2014). Towards risk-aware roadmapping: Influencing factors and practical measures. In *Technovation* 34(8), 399–409.
- Kamtsiou, V. (2006). Roadmapping as a Knowledge Creation Process : The PROLEARN Roadmap The Proposed Roadmapping Process and its implementation in. *Knowledge Creation Diffusion Utilization*, 1(3), 163–173.
- Kerr, C., & Phaal, R. (2020). Technology roadmapping: Industrial roots, forgotten history and unknown origins. *Technological Forecasting and Social Change*, 155(January), 119967.
- Kerr, C., Phaal, R., & Thams, K. (2019). Customising and deploying roadmapping in an organisational setting: The LEGO Group experience. *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M*, 52(October 2017), 48–60.
- Kim, E. (2016). Design Roadmapping: Integrating Design Research Into Strategic Planning For New Product Development. [Dissertation, University of California, Berkeley] *ProQuest Dissertations and Theses*.
- Lara-Rosano, F. (2017) *Fundamentos para el diagnóstico e intervención en sistemas complejos. Metodología para el Análisis de la Complejidad Social*. edit. Académica española.

- Lee, S., & Park, Y. (2005). Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: Overall process and detailed modules. *Technological Forecasting and Social Change*, 72(5), 567–583.
- Lee, S., Yoon, B., Lee, C., & Park, J. (2009). Business planning based on technological capabilities: Patent analysis for technology-driven roadmapping. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(6), 769–786.
- López-Ortega E., Castillo-Camarena , N., Valdés-Rodríguez, M., & Solis-González, R. (2019). Planeación en centros de investigación y desarrollo tecnológico (CIyDT). *XVIII Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica ALTEC*. Medellín.
- Loyarte, E., Posada, J., Gaines, S., Rajasekharan, S., Olaizola, I. G., Otaegui, O., Linaza, M. T., Oyarzun, D., del Pozo, A., Marcos, G., & Florez, J. (2015). Technology roadmapping (TRM) and strategic alignment for an applied research centre: A case study with methodological contributions. *R and D Management*, 45(5), 474–486.
- Mintzberg, H. (1994) The Fall and Rise of Strategic Planning, *Harvard Business Review*, Jun-Feb, 107-114
- Munch, J., Trieflinger, S., & Lang, D. (2019). Product Roadmap - From Vision to Reality: A Systematic Literature Review. *Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2019*.
- Pantartzis, E., Price, A., & Edum Fotwe, F. (2019). Roadmap layers and processes: resilient and sustainable care facilities. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(9), 1986–2007.
- Pearson, R. J., Costley, A. E., Phaal, R., & Nuttall, W. J. (2020). Technology Roadmapping for mission-led agile hardware development: a case study of a commercial fusion energy start-up. *Technological Forecasting and Social Change*, 158(April), 120064.
- Pereira, L., Durao, T., & Santos, J. (2019). Strategic Communication and Barriers to Strategy Implementation. *Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2019*, 1–5.
- Probert, D., & Radnor, M. (2003). Frontier experiences from industry-academia consortia. *Research Technology Management*, 46(2), 27–30.
- Riesener, M., Dolle, C., Tittel, J., Schuh, G., Reuss, M., & Rebentisch, E. (2020). Development of an Indicator Model for Anticipation of Strategy Implementation Failures. *2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications, ICIEA 2020*, 553–559.
- Saritas, O., & Aylene, J. (2010). Using scenarios for roadmapping: The case of clean production. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(7), 1061–1075.
- Semiconductor Industry Association (2015). *International Technology Roadmap for Semiconductors 2.0*.

[https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2018/06/0\\_2015-ITRS-2.0-Executive-Report-1.pdf](https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2018/06/0_2015-ITRS-2.0-Executive-Report-1.pdf)

- Shetler, J. C. (2002). Complex adaptative systems, attractors, and patching: A complex systems science analysis of organizational change, [Dissertation, The University of Texas at Austin] *ProQuest Dissertations and Theses*.
- Siebelink, R., Halman, J. I. M., & Hofman, E. (2016). Scenario-Driven Roadmapping to cope with uncertainty: Its application in the construction industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 110, 226–238.
- Strauss, J. D., & Radnor, M. (2004). Roadmapping for dynamic and uncertain environments. *Research Technology Management*, 47(2), 51–57.
- Tansurat & N. Gerdri (2019), *Extended Techniques to Enhance Technology Roadmapping: Research Opportunities and Challenges*, Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), 1-8
- Vecchiato, R., Roveda, C. (2010) *Strategic foresight in corporate organizations: Handling the effect and response uncertainty of technology and social drivers of change*. *Technological Forecasting and Social Change*, 77, 1527–1539.
- Willyard, H., McClees, W. (1987). *Motorola's technology roadmap process*. *Research Management*, 30(5), 13-19.